

## DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DE LA CÁMARA CALORIMÉTRICA PRINCIPAL DE ENSAYOS PARA APLICACIONES HVAC/R.

### Computer-aided design ventilation system of the main calorimetric test chamber to HVAC/R applications

#### RESUMEN

Este artículo presenta el modelo computacional implementado para el diseño y construcción del sistema de ventilación de la cámara calorimétrica principal de ensayos de equipos de acondicionamiento de aire tipo recinto, según norma internacional ISO 5151[1]. Se utiliza como herramienta el software FLOWWORKS para fijar los principales parámetros de diseño (dimensiones, trayectorias y velocidades) para dar cumplimiento a las restricciones establecidas en la norma internacional en relación a la homogeneidad en temperatura, dirección y velocidad del aire en el recinto de ensayo.

#### NÉSTOR FONSECA DIAZ

Ingeniero Mecánico, M.Sc.  
Profesor Auxiliar  
Universidad Tecnológica de Pereira  
nfonseca@utp.edu.co

#### LUIS CARLOS FLOREZ

Ingeniero Mecánico, M.Sc.  
Profesor Auxiliar  
Universidad Tecnológica de Pereira  
luiscflorez@gmail.com

**PALABRAS CLAVES:** Ventilación, diseño asistido por computador, cámara calorimétrica de ensayos.

#### ABSTRACT

*This article presents the computational model implemented for the design and construction of the ventilation system of the main calorimetric test chamber of room air-conditioners, according to international standard ISO 5151[1]. Software WORKING MODEL is used as tool to fix the main design parameters (dimensions and system trajectories and velocities) to give to fulfillment to the established restrictions at related international standard concerning with temperature, direction and speed homogeneity at the conditions of the air into the test chamber.*

**KEYWORDS:** Ventilation system, Computer-aided design, calorimetric test chamber.

### 1. INTRODUCCIÓN

Para el ensayo y posterior clasificación de equipos de acondicionamiento de aire tipo recinto (equipos tipo ventana o mini-split) que permita evaluar su capacidad de enfriamiento, flujo de masa y eficiencia energética acorde con la norma nacional NTC-4366 o las normas COPANT (Conferencia Panamericana de Normas Técnicas), se debe considerar en el diseño del banco de pruebas, las normas internacionales ISO 5151[1], nacional NTC 4295 [2] y ANSI/ASHRAE 16-1988 (RA99) [3]. Desafortunadamente, las normas nacionales e internacionales relacionadas con el método de ensayo y diseño de instalaciones para este tipo de pruebas, son demasiado superficiales, sobretodo en la definición de parámetros de diseño tales como el dimensionamiento de la cámara calorimétrica, espesor óptimo de aislamiento de las paredes, diseño térmico de puertas y ventanas, sistema de control de temperatura y humedad, patrones de flujo de aire, diseño experimental de la instrumentación y sistema de adquisición de datos y requerimientos básicos de la instalación como son la acometida de agua y energía entre otros.

La falta de profundidad en las normas se debe en parte a que existen fuertes intereses económicos relacionados con la fabricación de este tipo de instalaciones en el mundo, lo que dificulta la consecución de información detallada para el diseño.

A continuación y como parte del estudio experimental realizado para el diseño de este tipo de instalaciones y procesos, se pretende mostrar los resultados obtenidos en la definición del diseño del sistema de ventilación de la cámara interior o principal de ensayo, que pueden servir como complemento a las normas de ensayo establecidas y referencia para el diseño de este tipo de instalaciones.

### 2. SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y VENTILACIÓN.

El método de ensayo consiste básicamente en estimar la eficiencia energética de los equipos mediante balances de calor sobre el equipo y sus alrededores. Para esto se realizan los ensayos al interior de una cámara calorimétrica, en la que se simulan las condiciones de operación del equipo en prueba.

En el calorímetro o banco de ensayos, se tienen básicamente dos compartimientos separados por un

tabique sobre el cual se monta el equipo bajo ensayo (UT), siguiendo las recomendaciones del fabricante para que la instalación sea exactamente igual a la del equipo prestando su servicio normal. En el compartimiento exterior se simula mediante un equipo de acondicionamiento de aire, las condiciones de humedad y temperatura propias del ambiente exterior. En el compartimiento interior se simulan de igual manera las condiciones de la zona de confort o carga térmica del espacio que requiere ser climatizado. Las condiciones de temperatura y humedad ajustadas en los compartimientos permiten evaluar la máxima capacidad de enfriamiento del equipo UT. El calorímetro permite además de simular las condiciones de ensayo, minimizar y sobretodo cuantificar el efecto térmico de las pérdidas de calor con el ambiente exterior.

El calorímetro diseñado y construido para esta aplicación, se describe en detalle en la referencia [1,2,3] y se muestra esquemáticamente en la figura 1.

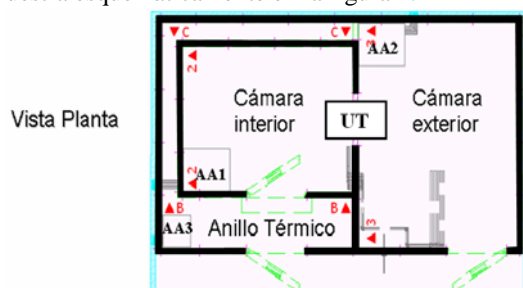


Figura 1. Distribución de espacio cámara calorimétrica.

La potencia de enfriamiento de la unidad bajo ensayo (UT en la figura 1) se debe calcular mediante el balance térmico de la cámara interior como método principal. La cámara exterior permite efectuar un segundo balance térmico de verificación y el anillo térmico alrededor de la cámara interior asegura estabilidad en las condiciones de humedad y temperatura del balance térmico principal [1,2,3]. En la figura 2, se muestran las zonas del calorímetro, la ubicación de los equipos de reacondicionamiento de aire AA1 (cámara interior), AA2 (cámara exterior), AA3 (anillo térmico) y la perforación del tabique de separación donde se ubicará el equipo bajo ensayo UT dentro del calorímetro. Para su fácil visualización se han suprimido algunas paredes y solo se indica la posición de las puertas de acceso.

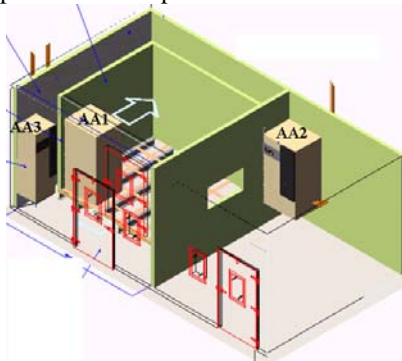


Figura 2. Ubicación de los equipos AA1, AA2, AA3 y UT.

### 3. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA LA CÁMARA INTERIOR.

Para dar cumplimiento a las especificaciones definidas en las normas nacionales e internacionales relacionadas con el ensayo de equipos de acondicionamiento de aire tipo recinto, el sistema de ventilación debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- La velocidad máxima del aire dentro de las cámaras no debe superar 0.5 m/s, para no afectar el normal desempeño del equipo bajo ensayo.
- El diseño del sistema de ventilación debe asegurar homogeneidad en las condiciones de temperatura es decir evitar la estratificación de la temperatura aire.
- Los patrones de flujo deben ser diseñados para no alterar el funcionamiento del equipo bajo ensayo (UT). Es decir se debe evitar el efecto de turbulencia y/o contraflujo respecto a la descarga de UT.

### 4. DISEÑO PRELIMINAR PROPUESTO.

En la figura 3, se esquematiza el sistema de ventilación y equipo de acondicionamiento de aire propuesto [4,5,6] para la cámara interior y las líneas de patrón de flujo esperadas, para dar cumplimiento a lo estipulado en las normas de ensayo.

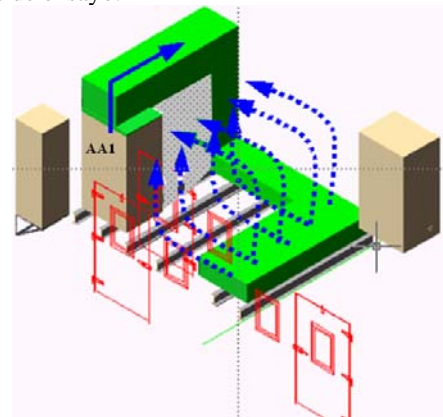


Figura 3. Patrón de flujo de aire dentro de la cámara interior.

Se muestra esquemáticamente la ubicación del equipo AA1, coductos y patrones de flujo del sistema de ventilación de la cámara interior.

Como se observa en la figura 3, el aire entra al equipo AA1 a través de una rejilla perforada ubicada a un costado del equipo. En AA1 el aire es tratado para obtener las condiciones de temperatura y humedad requeridas en el ensayo, luego el aire sale por la parte superior del equipo a través de un ducto para ser descargado en el recinto por el tramo de ducto que pasa por debajo del espacio destinado para instalar la unidad a ensayar (UT) en el tabique de separación. En el tramo final del ducto (ducto de descarga) se instalan rejillas transversales que permiten la salida del aire a través de rejillas difusoras horizontales y verticales, para lograr de esta forma las condiciones de homogeneidad y patrón de

flujo esperados del aire en este recinto [7]. Adicionalmente, se restringe la velocidad de descarga del aire a 0.5 m/s dentro de la cámara mediante el adecuado dimensionamiento de los ductos para dar cumplimiento a las normas de ensayo.

## 5. DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DE LA CAMARA INTERIOR

El modelo computacional desarrollado a partir del diseño preliminar propuesto, permite simular el comportamiento del aire dentro del recinto interior y estimar su velocidad, dirección y sobretodo nivel de turbulencia.

La entrada del modelo para cada simulación es la geometría de la cámara, velocidad y dirección de descarga del aire en las rejillas. A partir de los resultados obtenidos mediante esta herramienta, se define entre otros la velocidad máxima dentro de la cámara, dirección apropiada de las rejillas, para lograr los patrones de flujo definidos previamente.

Para lograr estas condiciones, se efectuaron diferentes simulaciones alterando el ángulo de las rejillas y fijando como parámetro la velocidad máxima del aire de descarga en 0.5 m/s.

El diseño de las rejillas simuladas, permite modificar la dirección de descarga del aire dentro de la cámara en cualquier punto de la rejilla, sin embargo, las rejillas a instalar en la cámara tienen un sistema manual que permite modificar en forma conjunta su ángulo de posición para facilitar el reglaje del sistema de ventilación. En el modelo computacional se consideran por lo tanto dos sectores dentro de la rejilla que pueden tener en forma independiente direcciones diferentes (rejillas horizontales tipo A y B en la figura 5).

La simulación considera además el efecto sobre la circulación del aire del dispositivo utilizado para la medición de temperatura del aire, diseñado según normas [1,7] (ver figura 4), los ductos, equipo de acondicionamiento de aire y otra instrumentación dentro de la cámara interior de ensayos.



Figura 4. Dispositivo para medición de temperaturas. La probeta para medición de temperatura de la figura 4, consiste básicamente de un dispositivo con el cual se

aspira aire a través de una serie de tubos perforados, para luego hacer pasar esta muestra por un ducto central de mezcla donde se efectúan las lecturas de temperatura de bulbo seco TBs, bulbo húmedo TBh y dew point TDP. El dispositivo utiliza un ventilador ubicado después de la zona de medición, que aspira la muestra de aire y la retorna nuevamente al recinto.

En las figuras 5 y 6 se esquematiza la rejilla y los sectores en que se puede modificar la dirección del aire, se indican también los componentes considerados en la simulación del flujo de aire dentro de la cámara interior.

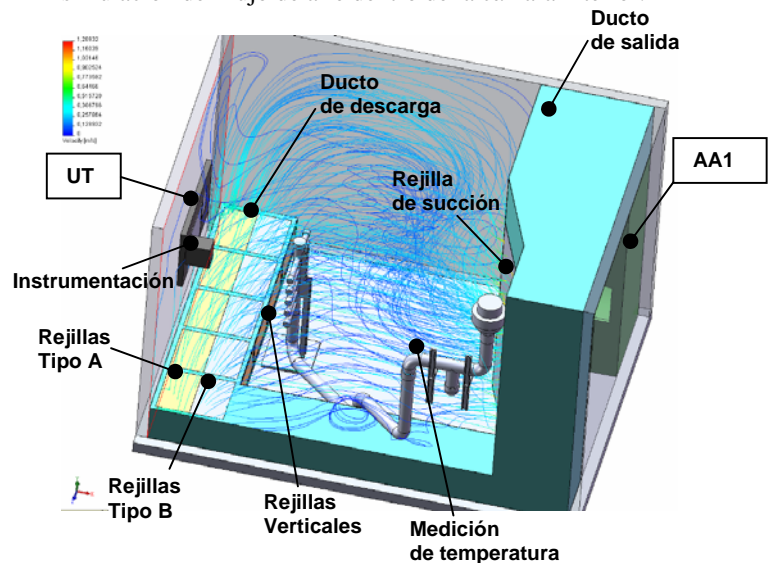


Figura 5. Sistema de ventilación y elementos considerados en la simulación.

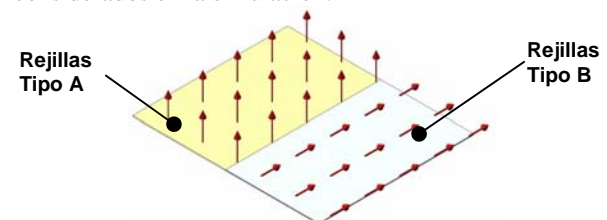
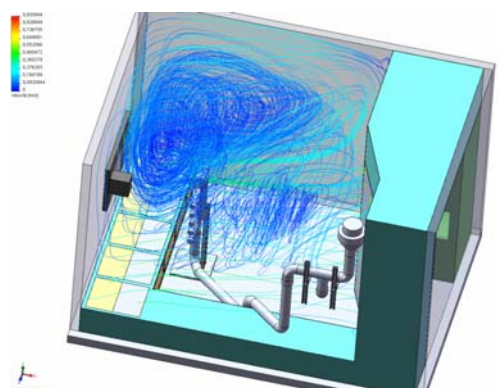


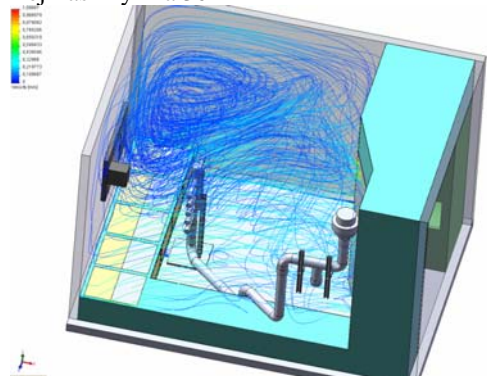
Figura 6. Zonas definidas en las rejillas horizontales para determinar la dirección de descarga del aire. En este caso rejillas A a 90° y B a 45°.

La unidad bajo ensayo UT se instala en la pared que separa la cámara interior de la exterior. A esta zona llega por el piso el ducto de ventilación que descarga finalmente el aire en la cámara. El ducto de descarga se modela considerando dos zonas de rejillas. El sector A corresponde a la zona de las rejillas más próxima a la pared donde se instala UT. Se efectuaron simulaciones preliminares posicionando las rejillas tipo A y B simultáneamente en las mismas direcciones 30°, 45°, 60° y 90° con respecto a la horizontal y las rejillas verticales paralelas al piso. Los resultados se muestran en la figura 7.

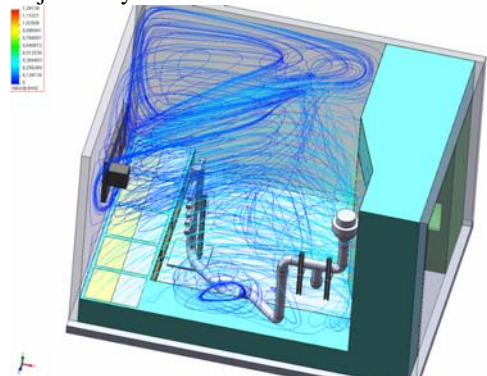




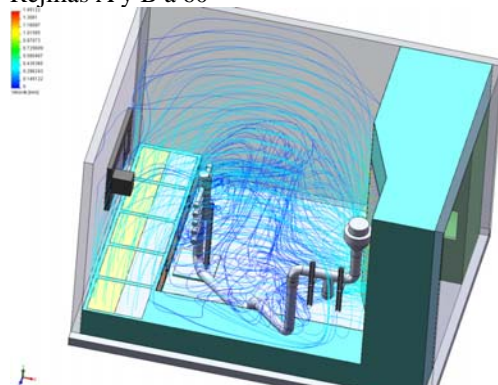
Rejillas A y B a 30°



Rejillas A y B a 45°.



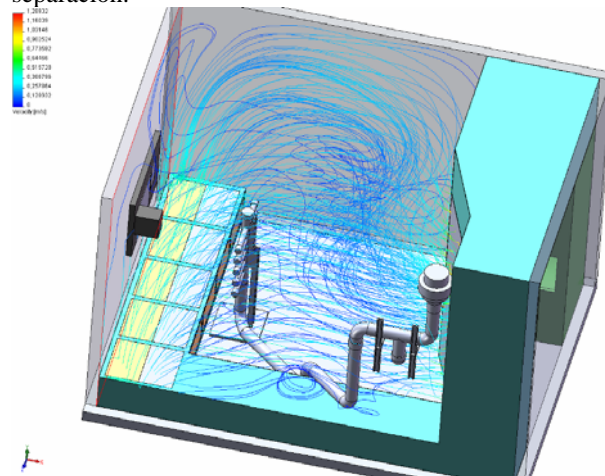
Rejillas A y B a 60°



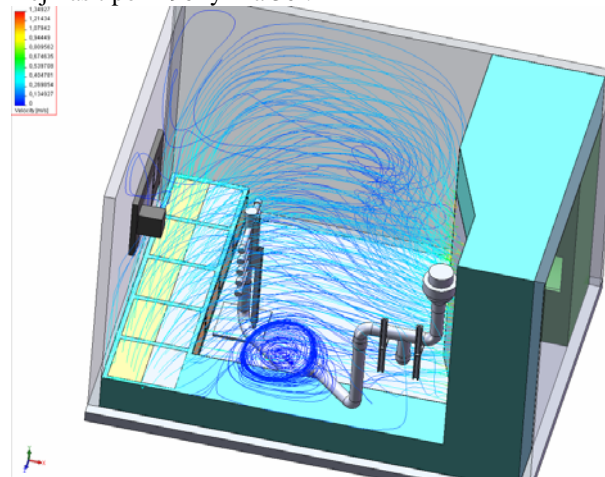
Rejillas A y B a 90°

Figura 7. Resultados de la simulación considerando el efecto de instrumentos de medición y de las Rejillas A y B de las rejillas en la misma dirección.

Se encontró que los sectores A en una posición diferente a 90 ° genera una turbulencia exagerada en la zona de medición que podría alterar las condiciones de operación del equipo bajo ensayo ubicado en el tabique de separación.



Rejillas tipo A 90° y B a 30°.



Rejillas A a 90° y B a 45°.

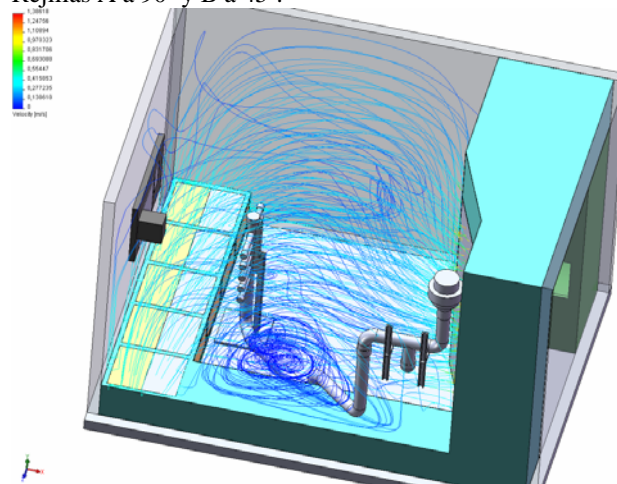


Figura 8. Resultados de la simulación considerando el efecto de instrumentos de medición y de las rejillas tipo A a 90° y tipo B en ángulos de 30°, 45° y 60°.

A partir de los resultados anteriores, se fijan los sectores A de las rejillas en un ángulo de  $90^\circ$  y se efectúan simulaciones modificando la posición de los sectores B en ángulos de  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $60^\circ$  con respecto a la horizontal. Los resultados de las simulaciones bajo las condiciones descritas previamente se muestran en la figura 8.

Se observa que la posición de las rejillas A y B a  $90^\circ$  y  $45^\circ$  respectivamente genera el menor grado de turbulencia en la zona de medición (centro de la cámara) y la perturbación mínima en el funcionamiento del equipo bajo ensayo UT.

Es evidente además que la perturbación del sistema de medición de temperatura, se presenta solo cerca de la pared de fondo de la cámara sin embargo su efecto es mínimo en la zona de medición y cerca de la unidad de ensayo.

Los ductos de suministro de aire y equipo de reacondicionamiento AA1 no generan una perturbación significativa sobre la circulación de aire dentro de la cámara. Su único efecto importante es el aumento de la velocidad del fluido en cercanías a la rejilla de succión del equipo AA1, sin embargo no afecta la descarga del equipo UT.

Se observa también que los patrones de flujo obtenidos permiten reducir y/o eliminar el riesgo de estratificación en las condiciones de temperatura y humedad del aire para que en el balance térmico de la cámara puedan considerarse humedad y temperaturas representativas de la cámara calorimétrica seleccionada como volumen de control.

Es importante aclarar que en todas las simulaciones mostradas previamente se fijaron las rejillas verticales en una posición paralela al piso. En cualquier posición diferente se encontró que se genera una turbulencia considerable en la zona de medición como se indica en la siguiente figura donde se simulan las rejillas verticales laterales a  $45^\circ$  y las horizontales tipo A y B a  $90^\circ$  y  $45^\circ$  respectivamente.

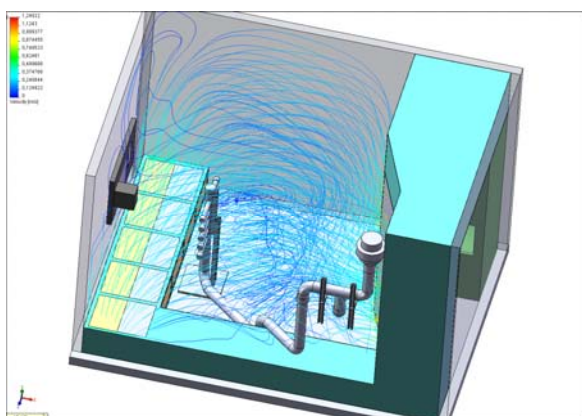


Figura 9. Resultados de la simulación considerando las rejillas A a  $90^\circ$  y las rejillas tipo B y verticales a  $45^\circ$ .

## 6. SISTEMA DE VENTILACIÓN IMPLEMENTADO

En las figuras 10 a 13 se muestra en detalle el sistema de ventilación implementado para la cámara de ensayos interior. Se utiliza una rejilla perforada a la entrada del equipo AA1, que impide que la velocidad del aire dentro del recinto de prueba aumente por efecto del ventilador del equipo de acondicionamiento de aire AA1 (figuras 10 y 11). Se dispone además de un damper de mezcla en el ducto de descarga que comunica la zona generada por la rejilla el equipo AA1 y la pared del calorímetro, de esta manera se controla de 0 a 100% el flujo masico de aire recirculado en la cámara y su velocidad (figura 12).

En las figura se indica también que en el ducto de descarga se disponen de rejillas perforadas transversales que generan la restricción en el flujo que permite la descarga del aire en la cámara en forma horizontal y transversal y su adecuada mezcla [8,9,10].

Las rejillas de descarga son regulables por zonas, para facilitar el reglaje del sistema (figura 13). Todo el sistema de ductos ventilación esta aislado para evitar posible condensación en su superficie.



Figura 10. Vista del equipo AA1 y rejilla de succión



Figura 11. Ducto de salida y rejilla de succión





Figura 12. Rejilla de succión, damper de regulación, y Ducto de suministro.



Figura 13. Vista de rejillas y ducto de descarga.

## 8. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en las simulaciones del sistema de ventilación de la cámara interior se identificaron las posiciones adecuada en las rejillas de descarga del aire tipo A y B a  $90^\circ$   $45^\circ$  respectivamente y verticales paralelas al piso. En estas posiciones se genera el menor grado de turbulencia en la zona de medición y la perturbación mínima en el funcionamiento del equipo bajo ensayo UT.

Se observó que el efecto del sistema de medición de temperatura, ductos de suministro de aire y equipo de reacondicionamiento AA1 sobre la circulación de aire dentro de la cámara es mínimo y no afecta las condiciones requeridas en la prueba.

Los patrones de flujo obtenidos, mediante el diseño del sistema de ventilación de la cámara interior del calorímetro, permiten obtener las condiciones de homogeneidad en temperatura y humedad del aire con las cuales considerar válidas las mediciones registradas, para que el balance térmico de la cámara pueda ser representativo.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Norma ISO 5151 Non-ducted air conditioners and heat pumps – Testing and rating performance.
- [2] NTC- 4295. Método de ensayo para la clasificación de acondicionadores de aire para recinto.
- [3] ASHRAE 16-1988 (RA99) Method of Testing for Rating Room air Conditioners and Packaged Terminal Air Conditioners.
- [4] LAZCARRO Jairo Francisco. Calorímetros NTC 4295. San Jun de Puerto Rico, Puerto Rico: Universidad de Mayagüest, Consulta vía e-mail. 2004.
- [5] TESCOT “Climatic Testing Equipment”. Cotización Calorímetro según ASHRAE 16-1983 (RA99). Pensilvania USA. Consulta vía e-mail. 2004.
- [6] MOTTARD Jean Michel Université de Liège. Calorímetros ULG Consulta vía e-mail. 2004.
- [7] ASHRAE STANDARD 41.1-1986 (RA 91) Standard Method for temperature Measurement.
- [8] FONSECA, Néstor. Estudio experimental del balance térmico de una ventana. Tesis de maestría. 2002. Universidad de Concepción Chile.
- [9] ANSI/ASHRAE 41.2-1987 (RA92) Standard Methods for Laboratory Airflow Measurement.
- [10] ANSI/ASHRAE 41.3 – 1989 Standard Method for Pressure Measurement.